

## 鍵盤奏者のための小型鍵盤楽器を用いた 文字入力インタフェースの設計と実装

竹川佳成<sup>†</sup> 寺田 努<sup>†</sup> 西尾章治郎<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科

近年、計算機の小型化や高性能化に伴い、ユーザが計算機を常に身に付けて持ち運ぶウェアラブルコンピューティングに対する注目が高まっている。これまでに提案されてきたウェアラブル環境用のインタフェースは、あらゆるユーザ向けに設計されたものが多く、敷居の低さと入力速度を両立させたものは存在していなかった。そこで、本研究では特に鍵盤奏者を対象とし、鍵盤や鍵盤奏者の性質を考慮した、小型鍵盤楽器のための文字入力インタフェースを提案する。提案方式はユーザを鍵盤奏者に限定することで、敷居の低さと高速な文字入力を両立している。さらに、プロトタイプを作成してシステムの有効性を評価した。

### Design and Implementation of a Text Input Interface using a Portable Clavier for Pianists

Yoshinari TAKEGAWA<sup>†</sup> Tsutomu TERADA<sup>†</sup> Shojiro NISHIO<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

Recently, due to the miniaturization of computers, wearable computing has attracted great attention. Several text input interfaces for wearable computing have been already proposed. However, since they are not specialized to specific users, they do not achieve enough easiness to use and input efficiency. Therefore, the goal of our study is to construct a text input method specialized to pianists by exploiting the characteristics of pianist and clavier. The proposed method achieves the simplicity and the efficiency by restricting users to pianists. We have developed a prototype system and evaluated its effectiveness.

## 1 はじめに

近年、計算機の小型化や高性能化に伴い、ウェアラブルコンピューティングに対する注目が高まっている。常時コンピュータを装着し利用するウェアラブル環境では、ユーザはあらゆる状況でコンピュータを操作するようになる。

これまでに、いつでもどこでも文字入力を行いたいという要求を満たすために様々な文字入力インタフェースが提案されてきた。これらは大きくキーボード型インタフェースと音声やジェスチャなどを用いる非キーボード型インタフェースに大別できる。後者は手が塞がらないという利点があるが、文字入力速度が遅く、また日常の動作を入力と取り違えてしまう可能性がある。一方、キーボード型インタフェースは、文字入力方式に着目すると携帯電話方式(同じキーに複数の文字を割り当て、キーを複数回押すことで入力文字を選択する方式)、ポケットベル方式(子音と母音など複数キーの組合せで入力する方式)、コード方式(複数キーを同時に入力する方式)に分類できる。一般に携帯電話方式、ポケットベル方式、コード方式の順で敷居は高くなり

使い始めの文字入力速度は遅い。しかし、習熟後の文字入力速度はコード方式が最も速くなる [6]。したがって、ユーザは敷居が低く低速な文字入力方式か、敷居が高いが習熟すれば高速に文字入力できる方式を選択しなければならない。

このように、万人向けに設計されたインタフェースでは、敷居の低さと文字入力速度の両立は難しい。そこで本研究では、鍵盤奏者を対象としたコード型文字入力インタフェースの構築を目的とする。提案方式は鍵盤の性質、鍵盤奏者の性質を考慮し、より直感的で敷居の低い文字入力ができるような工夫を行っている。

以下、2章で要求事項について述べ、3章で提案する文字入力システムの設計について説明し、4章で実装について述べる。最後に5章で本研究のまとめを行う。

## 2 要求事項

ウェアラブル環境における文字入力デバイスは、以下の性質が求められる。

携帯性：入力デバイスが小型かつ軽量である。

即時利用性：ユーザが望むときにすぐに利用できる。靴などに入れて持ち歩く入力デバイスは、操作時に取り出さなければならないため即時利用性が低い。

状況非依存性：ユーザがおかれている状況によらずいつでもどこでも利用できる。

操作性：使い始めるための敷居が低くかつ文字入力速度が速い。

上記4つの観点にもとづき、これまでに提案されたウェアラブルコンピューティング用文字入力インタフェースについて考える。これらは、非キーボード型インタフェースとキーボード型インタフェースに大別できる。

非キーボード型インタフェースは、音声や頭、視線、腕、手の動きを検出し文字を入力する [1, 2, 3, 4, 5]。このようなインタフェースは、ユーザの手が塞がっている状況が多いウェアラブル環境では有効であるが、使用できる場所や状況が限られる。また、意図しない入力や誤動作が多くなる上に、一般に文字入力速度は遅い。

キーボード型インタフェース [6, 7, 8] の多くは、持ち運びをしやすいように小型に設計され、片手入力や装着して使うなど即時利用性や環境非依存性に対し工夫されている。一方、操作性について考えると、キーボードは小型化の影響で特殊なキー配列になっており、ユーザはキーの名前やキー配置を覚えなければならない。また、キーボード型インタフェースは文字入力方式で分類すると携帯電話方式（同じキーに複数の文字を割り当て、キーを複数回押すことで入力文字を選択する方式）、ポケットベル方式（子音と母音など複数キーの組合せで入力する方式）、コード方式（複数キーを同時に入力する方式）に分けられる。ポケットベル方式は子音と母音それぞれに対して指の動きを考えなければならないが、携帯電話方式は、あるキーの連続打鍵で子音の動きのみ考えればよい。一方、コード方式は子音と母音の指の動きだけでなく同時打鍵もしなければならないため敷居が高い。しかし、文字入力速度は複数の操作を一度に行うコード方式が速くなる。

このように、敷居の低さと文字入力の速さ両方を備えた文字入力インタフェースの構築は難しい。しかし、対象を限定し、その対象にとって使い慣れたインタフェースを流用することで敷居の低さと文字

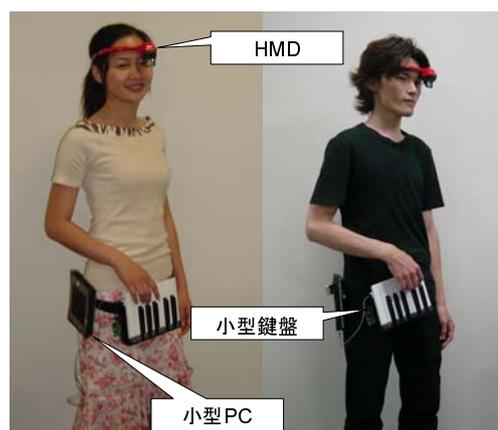


図 1: 利用形態

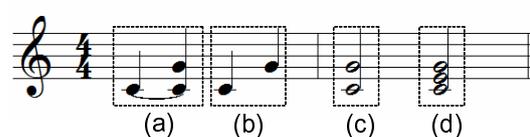


図 2: 奏法

入力速度の両立を実現できると考えられる。

### 3 設計

本研究では、鍵盤奏者を対象とし鍵盤や鍵盤奏者の性質を考慮した鍵盤型入力インタフェースの構築を目指す。

鍵盤は普段の生活で邪魔にならないように音域が1オクターブ未満の小型な鍵盤を用いる。小型にするために鍵盤のサイズ自体を小さくする方法も考えられるが、練習や演奏で使っている鍵盤と感覚が異なるとの確に打鍵できないため、鍵盤は標準のサイズにする。また、鍵盤は持って使用するのではなく装着し、入力は片手で行うことでより環境非依存性や安定性の向上を図る。

本研究で想定する利用形態を図1に示す。頭部にはヘッドマウントディスプレイを装着し、腰には小型PCと入力装置である小型鍵盤を装着する。また、ユーザはオプションとしてヘッドフォンを装着し、キー入力時には同時に音を出すことで入力音を聴く。

#### 3.1 鍵盤の性質

縦の耐性：鍵盤の各鍵は縦長の構造になっているため、縦方向で打鍵位置がずれてもミスタッチが生じにくい。



図 3: 小型鍵盤



図 4: 評価実験システム



図 5: 評価実験アプリケーション

和音：鍵は縦長の構造をしているため、指を無理矢理値、縮めたり伸ばしたりすることなく自然な状態で複数同時打鍵が行える。したがって、コード(和音)入力に適している。

アーティキュレーション：和音と同様、自然な状態で打鍵できるためアーティキュレーションをコントロールしやすい。そのため同じ2音入力でも図2(a)(b)(c)で示すようにさまざまなバリエーションで入力できる。

### 3.2 鍵盤奏者の性質

鍵盤奏者の性質を調査するために、図3に示す小型鍵盤を作成し手元を隠した状態で適当な2和音や3和音を打鍵してもらった。

表 1: 被験者のプロフィール

被験者	鍵盤暦	ブランク暦
情報系大学院 A	5 年	10 年
情報系大学院 B	10 年	7 年
情報系大学院 C	15 年	4 年
音楽大学 D	17 年	なし
音楽大学 E	17 年	なし
音楽大学 F	17 年	なし

#### 被験者

被験者は、いずれも鍵盤経験者で、数年のブランクがある情報系大学院生3名と全くブランクがない音楽大学ピアノ科学生3名とした。具体的な被験者のプロフィールを表1に示す。

#### システム構成

図4に実験を行っている様子とシステム構成を示す。実験ではWindows XPが動作するノートパソコン(IBM ThinkPad X30)を利用し、MIDI音源はRoland社のSC-8820を、出力スピーカはBOSE社の小型スピーカ(MM-1)、小型鍵盤はM-AUDIO JAPAN社のOXYGEN8を改造した。MIDI出力を備えるOXYGEN8はフルサイズ25鍵盤を備える。小型にするために鍵盤を半分に切断した。

また、実験を円滑に進めるために図5に示す評価実験アプリケーションを用意した。画面左上に打鍵してもらった2音もしくは3音を表示する。楽譜が読めない者もいると予想し、打鍵してほしい音は音名で表示した。さらに、画面中央にあるボタンのクリックで次の試行に移る。

#### 手続き

情報系大学院生には、1オクターブで考えられる2音の組合せをランダムに選び、図2に示す奏法(a)と(c)の2通りについてそれぞれ試行させた。音楽大学ピアノ科学生には、それらに加えて3音の組合せ(奏法(d))について試行してもらった。

被験者には「弾き直しを避けるように、できるだけ速く正確に打鍵するように」と指示した。また、実験に慣れてもらうために2音の組合せの試行を20回練習してから実際の評価を行った。さらに、実験終了後にアンケートを行った。表2にアンケート項目を示す。実験では、ノートオンおよびオフのノートナンバーとタイミング、ペロシティを記録した。

表 2: アンケート結果

アンケート項目		平均	標準偏差
1. 鳴っていた音は打鍵の補助となったか?	(1:ならない~5:なった)	4.8	0.4
2. 慣れたときに音の補助は必要か?	(1:必要でない~5:必要)	3.5	1.7
3. 打鍵時に生じる不協和音は気持ち悪いと感じたか?	(1:感じない~5:感じた)	3.8	1.4

表 3: ミスタッチ数の平均と標準偏差およびその内訳

和音数	奏法	ミスの原因	情報系大学院		音楽大学		全体	
			平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
2 和音 (133 試行)	(a)	全体	21.2	22.2	11.6	5.7	16.4	15.5
		隣接鍵の打鍵	19.6	20.2	6.6	3.2	13.1	14.8
		その他	1.6	2.1	5.0	3.6	3.3	3.2
	(c)	全体	19.6	9.1	9.0	3.6	14.3	8.5
		隣接鍵の打鍵	19.0	7.8	4.3	1.5	11.6	5.8
		その他	0.6	0.6	4.6	3.8	2.6	3.4
3 和音 (219 試行)	(d)	全体	none		14.3	1.2	14.3	1.2
		隣接鍵の打鍵	none		7.3	1.5	7.3	1.5
		その他	none		7.0	1.5	7.0	1.5

結果と考察

表 3 にミスタッチ数の平均と標準偏差を示す。また、ミスタッチの原因を隣の鍵を誤って打鍵してしまったことを原因とするものとそれ以外に分けた。情報系大学院の標準偏差値からわかるように最もブラークの長い者が多くミスをして平均値の底上げをする結果となった。他の 2 人のミスタッチ数は音楽大学ピアノ科学生と大きく変わらなかった。この結果から、個人差はあるがブラークのある者でも高い精度で 2 音あるいは 3 音の入力ができることがわかった。また、ミスタッチの多くは隣接鍵に集中していた。

このように、鍵盤奏者は相対的な音程間隔が発達しているといえる。すなわち、ある 2 音を打鍵する場合、どちらか鍵が正しく把握できていればもう一方の鍵も高い精度で打鍵できる。

アンケート結果から、打鍵音が入力の補助となっていることがわかった。ただし、習熟時に打鍵音を必要と思う者は多かったものの、一方、打鍵時に発生する不協和音を気持ち悪いと感じる者も多く打鍵音についてはユーザに選択的に利用してもらうべきであることがわかった。さらに、アンケート用紙の自由記述欄より、「黒鍵より白鍵の方が弾きやすい」、「3 和音は 2 和音より疲れる」などのコメントを得た。

表 4: 提案文字入力方法

奏法	第 2 音					
	C	D	E	F	G	
(b)						
第 1 音	C	あ	い	う	え	お
	D	か	き	く	け	こ
	E	さ	し	す	せ	そ
	F	た	ち	つ	て	と
	G	な	に	ぬ	ね	の

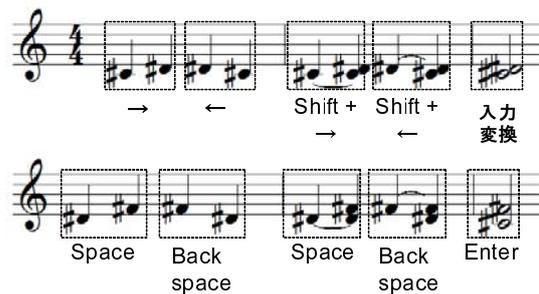


図 6: 特殊キーのマッピング

3.3 文字入力方法

これまでに得られた知見をもとに小型鍵盤用文字入力方法を提案する。少ない鍵数で多くの文字を入力するためには、ストローク数や同時打鍵数を

奏法 (a)		第2音				
		C	D	E	F	G
第1音	C	は	ひ	ふ	へ	ほ
	D	ま	み	む	め	も
	E	や	,	ゆ	.	よ
	F	ら	り	る	れ	ろ
	G	わ	を	ん	-	M

M: モード変換

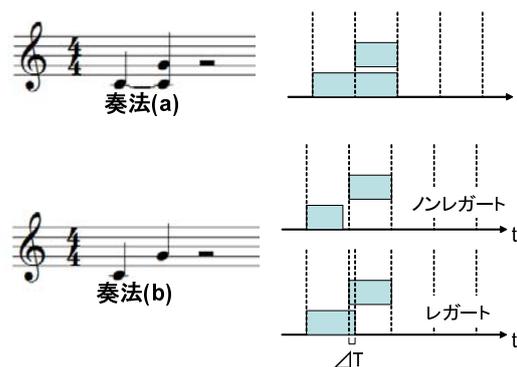


図 7: レガートとノンレガート

増やすことで組合せ数を稼ぐのが一般的である。しかし、提案方式では、2和音の組合せに簡単なアーティキュレーションを取り入れることで多彩な文字入力を実現する。

表 4 に提案文字入力方式の文字コード割り当てを示す。かな文字の入力には C 鍵から G 鍵 (白鍵のみ) の組合せで入力を行う。なお、は行～わ行で第 1 音と第 2 音が同じ鍵の場合、奏法 (a) で演奏できない。ゆえに、第 1 音と Cis 鍵, Dis 鍵, Fis 鍵のいずれかを図 2 奏法 (a) あるいは (b) で弾くことで該当の文字を入力できるようにした。また、図 6 に示すように、文字入力によく使う機能 (SPACE, ENTER, BACKSPACE, , , Shift+ , Shift+ , モード切替) は Cis 鍵, Dis 鍵, Fis 鍵の組合せで入力する。

このようにアーティキュレーションを取り入れることで、2音の組合せだけで 50 音の入力を実現している。なお、3.2 節の予備実験からわかるようにこれらの奏法は通常の演奏で頻繁に用いられるため、鍵盤奏者は的確にストレスなく入力できる。

提案する文字入力方式では特殊な場合を除きほとんどの操作を白鍵で行う。これはアンケート結果より白鍵の方が入りに適していると考えたためである。また、全ての文字入力操作は C 鍵から G 鍵で行う。これにより、C 鍵に親指を G 鍵に小指を置いたポーズをホームポジションとすれば、ホームポジション内で文字入力操作が行えるため安定性が確保できる。さらに、実験のヒアリングで「C 鍵に親指がある場合、D 鍵は人差し指、E 鍵は中指、F 鍵は薬指、G 鍵は小指を使って演奏する」という意見から、提案するホームポジションは、運指という視点から見ても演奏者にとって違和感がない。また、母音と指が 1 対 1 に対応付けられているため直感的に文字入力を行える。

## 4 実装

今回のプロトタイプシステムは、実験で作成した 1 オクターブの小型鍵盤を用いた。装着できるように鍵盤と回路部を重ねプラスチック製の網で固定し、網と鍵盤の間にベルトを挿入した。外観を図 3 に示す。また、PC 上ソフトウェアの開発は WindowsXP 上で Microsoft Visual C++6.0 を用いて行った。小型 PC として SONY 社の VAIO Type U を、HMD としては SHIMADZU 社の DataGrass2 を用いた。

### 4.1 同時打鍵とレガートの判定

プロトタイプシステムでは、ある鍵の打鍵から次の打鍵までの間隔が 100msec 以内であれば同時打鍵であったと判定している。これは、図 2 の奏法 (a) と (b) が、単純に 2 鍵目の打鍵時に 1 鍵目が打鍵されているという判定で区別できないためである。図 7 に示すように、奏法 (b) には 2 つの演奏方法がある。第 1 鍵目を離鍵してから第 2 鍵目を打鍵するノンレガートと呼ばれる奏法と第 1 鍵目を離鍵する前に第 2 鍵目を打鍵するレガートと呼ばれる奏法が存在するためである。鍵盤奏者は通常、レガートで演奏することが多く、また入力が高速になるほどレガートになる。そこで、奏法 (b) のレガートと奏法 (a) を区別するために、第 2 鍵目の打鍵から第 1 鍵目が離鍵されるまでの時間  $T$  を算出し、第 2 鍵目の打鍵後、 $T$  秒後に第 1 鍵目が離鍵されているかどうかでレガートか否かを判断している。 $T$  の値は経験的に 100msec とした。

### 4.2 評価

実装したプロトタイプの有効性を示すために、第一著者による簡単な評価実験を行った。実験ではプロトタイプと Twiddler との文字入力速度を比較し

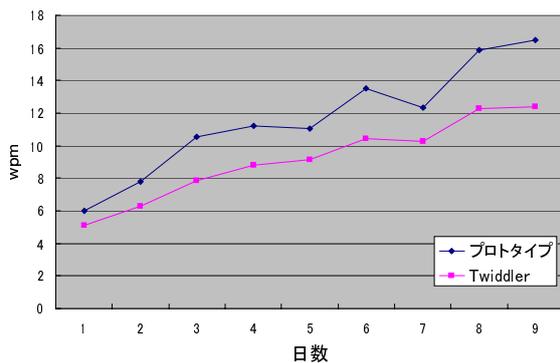


図 8: 文字入力速度

た．入力する文章は Yahoo!ニュースの記事である．被験者は英数字以外のかな文字を漢字変換込みで入力し，デバイスごとに異なる文章を立ちながら入力した．さらに，プロトタイプ使用時は打鍵で発生する音を聴きながら，鍵盤や文字コード表を全く見ない状態で入力した．一方，Twiddler 使用時は，ボタンやその周囲に付記された文字マッピング情報を参考にしながら入力した．これらの試行を 1 日 20 分間，10 日に渡って行った．

実験結果を図 8 に示す．横軸は日数を縦軸は 1 分間に入力した文字数 (wpm = word/minute) である．入力速度は Twiddler よりプロトタイプの方が上回った．プロトタイプは初めて使ったときから鍵盤を見ずにブラインド入力が可能であった．目的の文字を入力するために必要だった子音と鍵の対応を考える時間は習熟するにつれ縮まり，7 日目以降ほとんど考えることなく指が動くようになった．アーティキュレーションの違いによる入力ミスも少なかった．一方，Twiddler は，プロトタイプのように子音と鍵の組み合わせを記憶すればよい文字入力方式と違い，ローマ字入力方式であるためアルファベット 26 文字の組合せを記憶しなければならない．そのため，目的の文字を入力する時間，ボタンの組合せを記憶する時間が，プロトタイプより多くかかった．最終的に頻繁に使う母音はボタンの組合せを記憶でき素早く入力できるようになったが，それ以外は，打鍵するボタンを確認しなければならなかった．

## 5 まとめ

本研究では，鍵盤の性質や相対的な音程感覚といった鍵盤奏者の性質を利用した小型鍵盤楽器によ

るコード型文字入力方式を提案した．本方式は従来のコード入力方式にアーティキュレーションを取り入れ，より直感的でシンプルな文字入力方式を提案している．今後の課題としては，様々な鍵盤習熟者を対象とし入力速度や入力ミスなどをもとに提案する文字入力方式の有効性について評価したい．また，利き手とそれ以外の手で何らかの差が生じるかについても評価したい．さらに，予備実験の解析を進め，ミスタッチだけでなくペロシティや打鍵タイミングなどを含め調査し文字入力方式を改良するほか，誤り訂正などに利用していきたい．

## 謝辞

本研究の一部は，文部科学省 21 世紀 COE プログラム「ネットワーク共生環境を築く情報技術の創出」によるものである．ここに記して謝意を表す．

## 参考文献

- [1] 音声認識ソフト  
<http://www.scansoft.co.jp/viavoice/>
- [2] 頭の動きで操作するポインティングデバイス  
<http://akiba.ascii24.com/akiba/news/2003/12/04/647214-000.html>
- [3] 伊藤和幸：“注視中注視中の拡大表示機能付き視線マウスインタフェース,” ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 5, No. 3, pp. 367-372, 2003.
- [4] 庄司 武, 中村聡史, 塚本昌彦, 西尾章治郎：“ウェアラブル計算環境における環境の変化を考慮した入力インタフェースの構築,” 情報処理学会研究報告 (モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会 2004-MBL-28), Vol. 2004, No. 21, pp. 39-46, 2004.
- [5] 中村聡史, 塚本昌彦, 西尾章治郎：“DoubleRing: ウェアラブルコンピューティングのためのポインティングデバイス,” 情報処理学会シンポジウムシリーズマルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム (DICOMO2002) 論文集, Vol. 2002, No. 9, pp. 301-304, 2002.
- [6] Kent Lyons, Thad Starner, Daniel Plaisted, James Fusia, Amanda Lyons, Aaron Drew, and E. W. Looney.: “Twiddler Typing: One-Handed Chording Text Entry for Mobile Phones,” Proceedings of CHI 2004, pp. 671-678, 2004.
- [7] 7 個のキーで操作するコードキーボード  
<http://www.onehandkeyboard.com/>
- [8] Half-QWERTY キーボード  
<http://half-qwerty.com/>